پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۲ (۴): ۴۴۸-۴۳۹ (۱۴۰۲)- مقاله پژوهشی

Journal of Applied Research in Plant Protection 12 (4): 439–448 (2023)-*Research Articl*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2023.17102

عملکرد خاک دیاتومه ایرانی به تنهایی و در تلفیق با عصاره پونه در مقایسه با فرمولاسیون Silicosec® برای حفاظت دانه‌های مختلف غلات علیه حشرات کامل *Tribolium confusum*

فروغ زراسوندی، علی اصغر سراج✉، معصومه ضیائی

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. ✉seraj.a@scu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶

چکیده

استفاده از حشره‌کش‌های تماسی مصنوعی امروزه یکی از استراتژی‌های متداول برای جلوگیری از خسارت آفات انباری می‌باشد. با توجه به اهمیت اقتصادی آفات حشره‌ای انباری و مقاوم شدن آن‌ها نسبت به حشره‌کش‌های متداول شیمیایی، یافتن یک روش ایمن، مناسب، اقتصادی و با دوام ضروری می‌باشد. در این پژوهش، فعالیت حشره‌کشی غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فرمولاسیون تجاری Silicosec®، فرمولاسیون ایرانی Dryasil به تنهایی، Dryasil + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه (*Mentha longifolia*)، پودر تالک + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه روی حشرات کامل شپشه آرد *Tribolium confusum* Jacqulinدر غلات مختلف شامل گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت ارزیابی شد. غلات تیمار نشده به عنوان شاهد منفی، و غلات تیمار شده با پودر تالک به عنوان شاهد مثبت در نظر گرفته شدند. تلفات حشرات کامل ۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۴ روز بعد از تیمار شمارش شد. در بیشتر موارد فرمولاسیون Dryasil و بعد از آن Silicosec®، به طور معنی داری جمعیت حشرات مورد آزمایش را در توده غلات کنترل کردند. میانگین درصد تلفات حشرات کامل شپشه آرد در گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت تیمار شده با فرمولاسیون Dryasil خاک دیاتومه به ترتیب ۵۴/۴۴، ۸۰/۰، ۵۴/۴۴، ۴۵/۵۵، و ۴۵/۵۵ درصد، ۱۴ روز پس از تیمار گزارش شد. درصورتی که در همین فاصله زمانی، Silicosec® به ترتیب توانست ۵۶/۶۶، ۶۵/۵۵، ۳۴/۴۴، ۵۰/۰، و ۴۳/۳۳ درصد از حشرات کامل شپشه آرد را به ترتیب در گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت کنترل کند. نتایج نشان داد که اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه با گذشت زمان افزایش می‌یابد. علاوه براین، Dryasil را می‌توان به عنوان نگهدارنده مناسب غلات جهت کنترل حشرات آفات انباری توصیه کرد.

کلمات کلیدی: خاک دیاتومه، شپشه آرد، غلات، نگهدارنده دانه

Performance of Iranian diatomaceous earth alone and in combination with *Mentha longifolia* extract compared to Silicosec® formulation to protect different cereal grains against *Tribolium confusum*

Forooq Zarasvandi, Ali Asghar Seraj✉, Masumeh Ziaee

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. ✉seraj.a@scu.ac.ir

Received: 6 March 2023 Revised: 3 April 2023 Accepted: 16 May 2023

Abstract

The use of synthetic contact insecticides is one of the common strategies to prevent the damage of storage pests. Considering the economic importance of storage insect pests and their resistance to common chemical insecticides, it is necessary to find a safe, suitable, economical and durable method. In this research, the insecticidal activity of 400 mg/kg concentration of a commercial formulation, Silicosec®, an Iranian formulation Dryasil, Dryasil + 0.05% *Mentha longifolia* extract, talcum powder alone, talcum powder + 0.05% of *M. longifolia* extract was evaluated on *Tribolium confusum* adults in different grains including wheat, barley, rice, paddy rice and corn. Untreated grains were considered as negative controls and grains treated with talcum powder were considered as positive controls. The mortality of adult insects were counted 1, 5, 7, 10 and 14 days after treatment. In most cases, the Dryasil formulation followed by Silicosec® significantly controlled the tested insect population in the grain mass. The mean mortality percentage of *T. confusum* 14 days after treatment in wheat, barley, rice, paddy and corn treated with Dryasil formulation was reported 54.44, 80.0, 54.44, 45.55, and 45.55 %, respectively. In the same time period, Silicosec® was able to control 56.66, 65.55, 34.44, 50.0, and 43.33% of *T. confusum* adults in wheat, barley, rice, paddy rice and corn, respectively. The results showed that the insecticidal efficacy of diatomaceous earth increased over time. Moreover, Dryasil can be recommended as a suitable grain protectant to control storage insect pests.

Keywords: Diatomaceous earth, *T. confusum*, cereal, grain protectant

How to cite:

Zrasvandi F, Seraj AA, Ziaee M, 2023. Performance of Iranian diatomaceous earth alone and in combination with *Mentha longifolia* extract compared to Silicosec® formulation to protect different cereal grains against *Tribolium confusum*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (4): 439–448.

مقدمه

تقریباً ۸ تا ۱۰ درصد، یعنی حدود ۱۳ میلیون تن غله سالانه در اثر خسارت حشرات آفات انباری و حدود ۱۰۰ میلیون تن غله بدلیل عدم رعایت اصول انبارداری در سراسر جهان از بین می‌رود (Ahmad *et al.* 2021). حشرات با زیان‌های کمی، کیفی و بهداشتی به محصولات انباری منجر به خسارت‌های سنگین در این فراورده‌ها می‌گردند. خسارت‌های کمی آفات انباری در نتیجه تغذیه مستقیم آفات از محصولات انباری رخ می‌دهد و سبب کاهش محسوسی در وزن محصول می‌شود. این خسارت‌ها به ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه-گرمسیری به علت فعالیت پیوسته آفات انباری روی محصول بیشتر است (Nayak & Daglish 2018). حفاظت محصولات انباری در قرن بیست و یکم، شاهد توسعه و کاربرد برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات همراه با تاکید بیشتر بر استفاده از جایگزین‌های آفت‌کش‌های سنتی خواهد بود. برنامه‌های مدیریت آفات در کشورهای توسعه‌یافته به سمت تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذای عاری از باقی‌مانده‌های آفت‌کش‌های شیمیایی به لحاظ عدم تاثیر نامطلوب بر محیط زیست و سمیت کم برای پستانداران پیش می‌رود (Hamel *et al.* 2020). یکی از روش‌های جایگزین استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی، استفاده از خاک دیاتومه (Diatomaceous earth) برای کنترل آفات انباری می‌باشد. در سال‌های اخیر خاک دیاتومه به عنوان جایگزین مناسب برای حشره‌کش‌های شیمیایی مثل آفت‌کش‌های تدخینی معرفی شده و به عنوان یکی از بخش‌های مهم برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات تبدیل شده است (Fields & Korunic 2000). بررسی قدرت حشره‌کشی گردهای بی‌اثر از اوایل دهه ۱۹۳۰ آغاز شد و دسترسی به اولین فرمولاسیون تجارتی خاک دیاتومه در حدود سال ۱۹۶۰ امکان‌پذیر گردید. هم اکنون فرمولاسیون‌های تجارتی خاک دیاتومه بیش از ۴۰ سال است که در ایالت متحده امریکا بکار گرفته می‌شوند و علاوه بر آن در کانادا، استرالیا، ژاپن، اندونزی و عربستان نیز برای کنترل آفات انباری ثبت شده‌اند (Armitage *et al.* 1998). ذرات خاک دیاتومه حاوی حفرات ریزی هستند که توانایی جذب مولکول‌های موم اپی‌کوتیکول حشره را دارند. لذا هنگام تماس با کوتیکول حشرات لایه مومی کوتیکول را جذب کرده، به مقدار کمی باعث ایجاد خراش بر روی سطح کوتیکول می‌گردد و سبب از دست رفتن آب بدن و مرگ حشره می‌شود (Ebeling 1971).

شپشه آرد با نام علمی (Coleoptera: *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Tenebrionidae حشره‌ای همه‌جازی هست و در اغلب نقاط دنیا به فراوانی دیده می‌شود. این حشره چندخوار بوده و می‌تواند از محصولات انباری مختلف مانند دانه‌های روغنی، بادام زمینی، بذر، کتان، کرچک، حبوبات، میوه‌های خشک، ماکارونی، گیاهان خشک دارویی و کلکسیون‌های جانوری تغذیه کند (Hill 2002).

بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی فعالیت حشره‌کشی خاک دیاتومه ایرانی به تنهایی و در تلفیق با عصاره پونه در مقایسه با فرمولاسیون تجاری Silicosec® علیه حشرات کامل شپشه آرد، *T. confusum*، در غلات مختلف شامل گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت بود. همچنین مدت زمان کشندگی ۵۰ درصد جمعیت حشرات کامل شپشه آرد محاسبه شد.

مواد و روش

جمع آوری و پرورش حشرات

کلنی شپشه آرد *T. confusum* از آزمایشگاه حشره شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. پرورش شپشه آرد روی محیط غذایی شامل ۹۵ درصد آرد گندم و ۵ درصد مخمر صورت گرفت. حشرات در شرایط آزمایشگاهی دمای ۱ ± ۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد در تاریکی پرورش داده شدند و پس از چند نسل پرورش، جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. در کلیه آزمایش‌ها از حشرات کامل ۷ تا ۱۴ روزه بدون در نظر گرفتن جنسیت استفاده شد.

ترکیبات مورد استفاده در آزمایش‌ها

فرمولاسیون SilicoSec® با منشا آب شیرین بوده و از ۹۲ درصد SiO_2، ۳ درصد Al_2O_3، ۱ درصد Fe_2O_3، ۱ درصد Na_2O تشکیل شده است (Biofa GmbH, Münsingen, Germany). خاک دیاتومه ایرانی با منشا آب شیرین بوده و دارای ۹۲/۵۹ درصد SiO_2، ۱/۴۱ درصد Fe_2O_3، ۰/۸۸ درصد TiO_2، ۰/۶۱ درصد Al_2O_3، ۰/۶۲ درصد SO_3، و سایر ترکیبات است. فرمولاسیون ایرانی Dryasil حاوی ۹۰ درصد خاک دیاتومه ایرانی، و ۱۰ درصد سیلیکا آیروژل است. سیلیکا آیروژل اضافه شده به این فرمولاسیون از خاکستر باگاس نیشکر تهیه شده بود (Saed *et al.* 2021). پودر تالک مدل Johnson's حاوی ۱۰۰ درصد پودر تالک از داروخانه خریداری شد. برگ پونه کوهی *Mentha longifolia* L. از کوهپایه‌های روستای انهر سفلی، ارومیه، آذربایجان غربی تهیه شد. پونه کوهی توسط

گیاهشناس در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور شناسایی شد. جهت عصاره‌گیری از برگ گیاه پونه، نمونه گیاهی خشک شده ابتدا با آسیاب برقی پودر شد. عصاره‌گیری با حلال متانول صورت گرفت. بدین منظور، ۱۰ گرم از بافت گیاهی آسیاب شده در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس روی شیکر قرار داده، سپس ۷۵ میلی‌لیتر از محلول را برداشته، ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر استریل به آن اضافه شد که حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. سپس هم حجم با آن متانول اضافه شد. این مخلوط دو ساعت روی شیکر قرار داده شد، پس از این مرحله، بخش‌های مختلف به کمک دکانتور جدا شد و بخش متانولی جهت تبخیر متانول و استحصال عصاره در زیر هود قرار داده شد و بعد از آن عصاره در ظرف‌های شیشه‌ای تیره‌رنگ و کوچک جهت انجام آزمایش نگهداری شد (Shazdeahmadi & Sajjadi 2022).

اثر حشره‌کشی فرمولاسیون تجاری و خاک دیاتومه ایرانی به تنهایی و در تلفیق با عصاره پونه روی حشرات کامل شپشه آرد در غلات مختلف

آزمایش بر اساس روش Kavallieratos *et al.* (2019) با کمی تغییر صورت گرفت. در این آزمایش اثر حشره‌کشی فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در توده غلات مختلف بررسی شد. مقدار یک کیلوگرم از هر غله در ظرف شیشه‌ای یک لیتری (سه ظرف برای هر غله) ریخته شد. دانه‌های غلات با غلظت‌های مختلف فرمولاسیون‌های Silicosec®، فرمولاسیون ایرانی Dryasil به تنهایی، فرمولاسیون ایرانی Dryasil + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه، پودر تالک + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه، به طور جداگانه تیمار شدند. غلات تیمار نشده به عنوان شاهد منفی، و غلات تیمار شده با پودر تالک به عنوان شاهد مثبت در نظر گرفته شدند در نظر گرفته شدند. ظرف‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شدند تا ذرات خاک دیاتومه به صورت یکنواخت در توده غلات پخش شوند. از هر ظرف تیمار شده و نشده، سه نمونه ۱۰ گرمی از دانه‌های غلات به سه ظرف کوچکتر (حدود ۱۰۰ میلی‌لیتری) به عنوان سه زیر تکرار ریخته شد. برای هر یک از غلات به طور جداگانه، از دانه‌های کامل غلات و دانه‌های خردشده به نسبت ۹ به ۱ (برای دسترسی حشرات به غذا) استفاده شد. در هر ظرف آزمایش، تعداد ۱۰ حشره کامل شپشه آرد، *T. confusum* (۷ تا ۱۴ روزه، بدون تفکیک جنسیت حشره) رهاسازی شد. بعد از رهاسازی حشرات، درپوش ظرف‌های آزمایش با پارچه توری برای ایجاد تهویه کافی پوشانده شد. آزمایش‌ها در دمای ۱ ± ۲۷ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و شرایط تاریکی انجام گرفتند. تلفات حشرات کامل ۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۴ روز بعد از تیمار شمارش شدند. حشراتی که با تحریک سوزن، فاقد حرکت پا و شاخک بودند به عنوان حشره مرده در نظر گرفته شدند.

آنالیز آماری داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفت. تلفات در تیمار شاهد منفی و مثبت مشاهده نشد، لذا نیاز به اصلاح داده‌ها وجود نداشت. تجزیه واریانس داده‌های آزمایشگاهی آزمایش اثر حشره‌کشی در توده غلات در قالب مدل repeated measures انجام شد. فاکتور تکرار شده (repeated) فاصله زمانی بوده و درصد تلفات به عنوان پاسخ در نظر گرفته شد. فرمولاسیون خاک دیاتومه، و نوع غله به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد و اثرات متقابل نیز بررسی شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SPSS16 انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی (Tukey HSD-test) در سطح احتمال آماری پنج درصد انجام شد. مقادیر LT_{50} و حدود اطمینان ۹۵ درصد به روش پروبیت آنالیز شد. مقایسه مقادیر LT_{50} بر اساس حدود اطمینان محاسبه شده در سطح ۹۵ درصد صورت گرفت، از این‌رو، در صورتی‌که حدود اطمینان تیمارهای مختلف با یکدیگر همپوشانی نداشتند از نظر سمیت یکسان در نظر گرفته شدند (IBM Corp. 2007).

نتایج

در بین غلات آزمایش شده، بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت. همچنین بین زمان‌های مورد بررسی نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل تیمار و زمان در بررسی اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه روی شپشه آرد نیز معنی‌دار شد (جدول ۱).

نتایج مشاهدات در روز اول برای گندم نشان داد که تیمار Silicosec® با درصد تلفات ۷/۷ بیشترین تلفات را ایجاد کرد و تفاوت معنی‌داری با تیمار پونه + تالک داشت. با گذشت پنج روز، درصد تلفات تیمارهای Silicosec® و Dryasil تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

جدول ۱. پراسنجه‌های تجزیه واریانس چند متغیره برای تلفات حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در غلات مختلف تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه (درجه آزادی خطای کل= ۹۶).

Table 1. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) parameters for mortality of *Tribolium confusum* adults on different cereals treated with different DEs (error df = 96 for all commodities).

Source		Wheat	Barley	Rice	Paddy rice	Maize
	df	*F, P*	*F, P*	*F, P*	*F, P*	*F, P*
Treatments	3	76.417, <0.001	126.562, <0.001	16.886, <0.001	19.469, <0.001	34.288, <0.001
Error (treatment)	24	-	-	-	-	-
Time	4	389.399, <0.001	766.513, <0.001	769.269, <0.001	629.571, <0.001	773.300, <0.001
Error (time)	32	-	-	-	-	-
Treatment × time	12	18.591, <0.001	33.850, <0.001	17.604, <0.001	8.160, <0.001	17.916, <0.001

در روز هفتم، تیمارهای Silicosec® و Dryasil بیشترین درصد تلفات را ایجاد کردند که تفاوت معنی‌داری با دو تیمار دیگر مشاهده شد. در روز ۱۰، بیشترین تلفات مربوط به تیمار Silicosec® با درصد تلفات ۳۶/۶ و کمترین درصد تلفات مربوط به تیمار Dryasil+ پونه با درصد تلفات ۸/۸ بود. در روز چهاردهم، تیمارهای Silicosec® و Dryasil بیشترین درصد تلفات را ایجاد کردند و باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار با دو تیمار دیگر شدند. با گذشت زمان از روز اول به پنجم، درصد تلفات در تمامی تیمارها افزایش پیدا کرد، به طوری که در روز ۱۰، تیمار Silicosec® با درصد تلفات ۳۶/۶ تفاوت معنی‌داری با درصد تلفات حشرات کامل هفت روز پس از تیمار داشت. در روز چهاردهم، تیمار Dryasil با درصد تلفات ۵۴/۴ بعد از تیمار Silicosec® بیشترین تلفات را ایجاد کرد که تفاوت معنی‌داری با درصد تلفات ۱۰ روز پس از تیمار داشت (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین درصد تلفات ± خطای معیار حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در گندم تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه.

Table 2. Mean mortality% ± SE of *Tribolium confusum* in wheat treated with diatomaceous earth.

Treatments	Time (days)				
	1	5	7	10	14
Silicosec®	7.77±2.22aE	17.77±1.46aD	26.66±1.66aC	36.66±1.66aB	56.66±1.66aA
Dryasil	6.66±2.35aD	13.33±1.66aD	23.33±1.66aC	33.33±1.66aB	54.44±1.75aA
Dryasil+ M.LE	2.22±1.46aC	3.33±1.66bC	5.55±1.75bB	8.88±2.00bB	22.22±1.46bA
Talcum+ M.LE	0.00bD	3.33±1.66bD	7.77±2.22bC	14.44±1.75bB	22.22±1.46bA
$F_{3,32}$, *P*	4.260, 0.012	<0.001, 20.235	<0.001, 33.788	<0.001, 59.577	<0.001, 145.778

Means with different lowercase letters in each column, and different uppercase letters in each row have a significant difference using Tukey test at $P = 0.05$, M.LE: *M. longifolia* extract.

نتایج نشان داد که در روز اول روی جو در هیچ یک از تیمارها تلفاتی ایجاد نکرد. بعد از گذشت پنج روز، بیشترین درصد تلفات به ترتیب مربوط به تیمارهای Silicosec® با درصد تلفات ۲۴/۴ و Dryasil با درصد تلفات ۲۰/۰ بود و دارای تفاوت معنی‌دار با دو تیمار Dryasil + پونه و پونه + تالک بود. پس از گذشت هفت روز، بیشترین تلفات مربوط به تیمار Dryasil و کمترین تلفات مربوط به تیمار پونه + تالک بود. در روز دهم، تیمار Dryasil و بعد از آن Silicosec® بیشترین درصد تلفات حشرات کامل شپشه آرد در جو را به خود اختصاص دادند و تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. در روز ۱۴، خاک دیاتومه ایرانی Dryasil با درصد تلفات ۸۰/۰ بیشترین درصد تلفات را روی شپشه آرد ایجاد کرد و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. با گذشت زمان از روز ۱ به ۵، تمامی تیمارها به جز تیمار پونه + تالک تلفات ایجاد کردند، به طوری که ۵ روز بعد از تیمار با خاک دیاتومه Silicosec®، ۲۴/۴ درصد تلفات گزارش شد. روند افزایش درصد تلفات تا روز ۱۴ ادامه داشت به طوری که در این روز، تیمار Dryasil ۸۰/۰ درصد تلفات ایجاد کرد که تفاوت معنی-داری با روز ۱۰ نداشت (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین درصد تلفات ± خطای معیار حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در جو تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه.

Table 3. Mean mortality% ± SE of *Tribolium confusum* in barley treated with diatomaceous earth.

Treatments	Time (days)				
	1	5	7	10	14
Silicosec®	0.00E	24.44±2.42aD	45.55±3.37bC	55.55±1.75bB	65.55±1.75bA
Dryasil	0.00D	20.00±2.88aC	55.55±1.75aB	74.44±1.75aA	80.00±2.35aA
Dryasil+ M.LE	0.00D	2.22±1.46bD	18.88±2.60cC	44.44±1.75cB	57.77±3.23bA
Talcum+ M.LE	0.00D	0.00bD	4.44±2.42dC	21.11±2.60dB	32.22±1.46cA
$F_{3,32}$, P	-	<0.001, 37.333	<0.001, 81.818	<0.001, 123.692	<0.001, 75.285

Means with different lowercase letters in each column, and different uppercase letters in each row have a significant difference using Tukey test at $P = 0.05$, M.LE: *M. longifolia* extract.

نتایج پژوهش‌ها روی برنج نشان داد که در روز اول، درصد تلفات حشرات کامل روی شپشه آرد در تمامی تیمارها صفر بود. در روز پنجم، تلفاتی در تیمارهای Silicosec® و پونه + تالک گزارش نشد؛ در حالی که تیمارهای Dryasil و Dryasil+ پونه به ترتیب ۳/۳ و ۲/۲ درصد تلفات به خود اختصاص دادند. پس از گذشت هفت روز، تیمار Dryasil بیشترین درصد تلفات را به خود اختصاص داد که با تیمار Dryasil + پونه تفاوت معنی‌دار نداشت، ولی با تیمارهای Silicosec® و پونه + تالک تفاوت معنی‌دار داشت. در روز ۱۰، خاک دیاتومه ایرانی Dryasil باعث ۳۵/۵ درصد تلفات شد که با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. با گذشت ۱۴ روز، همچنان تیمار Dryasil بیشترین تلفات را ایجاد کرد و تفاوت معنی‌داری با تیمارهای دیگر مشاهده شد. درصد تلفات با گذشت زمان از روز اول به روز چهاردهم، تیمار Dryasil بیشترین درصد تلفات را ایجاد کرد به طوری که در روز چهاردهم، به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. به طوری که فرمولاسیون Dryasil باعث ۱۷/۷ درصد تلفات، ۷ روز پس از تیمار شد که با افزایش زمان درصد تلفات به ۵۴/۴ درصد در روز چهاردهم رسید (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین درصد تلفات ± خطای معیار حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در برنج تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه.

Table 4. Mean mortality% ± SE of *Tribolium confusum* in rice treated with diatomaceous earth.

Treatments	Time (days)				
	1	5	7	10	14
Silicosec®	0.00C	0.00aC	3.33±1.66cC	22.22±1.46bB	34.44±1.75bA
Dryasil	0.00D	3.33±1.66aD	17.77±2.22aC	35.55±2.42aB	54.44±1.75aA
Dryasil+ M.LE	0.00D	2.22±1.46aD	13.33±1.66aC	25.55±1.75bB	35.55±1.75bA
Talcum+ M.LE	0.00C	0.00aC	7.77±1.46bB	23.33±1.66bB	36.66±1.66bA
$F_{3,32}$, P	-	<0.001, 2.250	<0.001, 12.618	<0.001, 10.667	<0.001, 29.915

Means with different lowercase letters in each column, and different uppercase letters in each row have a significant difference using Tukey test at $P = 0.05$, M.LE: *M. longifolia* extract.

مشاهدات در روز اول روی شلتوک بدین صورت بود که هیچکدام از تیمارها تلفاتی روی حشرات کامل شپشه آرد ایجاد نکردند. پنج روز بعد، درصد تلفات تیمارهای Silicosec® و Dryasil با هم برابر بود و تفاوت معنی‌داری با هم و با سایر تیمارها نداشتند. در روز هفتم، درصد تلفات تیمارهای Silicosec® و Dryasil ۱۶/۶ درصد گزارش شد و تفاوت معنی‌داری با تیمار پونه + تالک نشان دادند. با گذشت ۱۰ روز، درصد تلفات تیمار Silicosec® و Dryasil به ترتیب به ۳۱/۱ و ۳۰/۰ درصد رسید که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در روز ۱۴، درصد تلفات تیمار Silicosec® عدد ۵۰/۰ و بعد از آن تیمار Dryasil ۴۵/۵ درصد تلفات را نشان داد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. با گذشت زمان از روز اول به پنجم، درصد تلفات

برای تمامی تیمارها به جز تیمار پونه + تالک مشاهده شد. درصد تلفات تمامی تیمارها در روز ۱۴ افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری با تلفات ۱۰ روز پس از تیمار داشت (جدول ۵).

جدول ۵. میانگین درصد تلفات ± خطای معیار حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در شلتوک تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه.

Table 5. Mean mortality% ± SE of *Tribolium confusum* in paddy rice treated with diatomaceous earth.

Treatments	Time (days)				
	1	5	7	10	14
Silicosec®	0.00D	5.55±1.75aD	16.66±1.66aC	31.11±2.00aB	50.00±2.88aA
Dryasil	0.00D	5.55±1.75aD	16.66±1.66aC	30.00±1.66aB	45.55±1.75aA
Dryasil+ M.LE	0.00D	3.33±1.66aD	13.33±1.66aC	26.66±1.66aB	36.66±2.35bA
Talcum+ M.LE	0.00D	0.00aD	7.77±1.46bC	16.66±1.66bB	25.55±1.75dA
$F_{3,32}$, P	-	<0.001, 3.080	<0.001, 6.760	<0.001, 14.000	<0.001, 23.221

Means with different lowercase letters in each column, and different uppercase letters in each row have a significant difference using Tukey test at $P = 0.05$, M.LE: *M. longifolia* extract.

در ذرت مشاهدات نشان داد که در روز اول در هیچ یک از تیمارها تلفاتی ثبت نشد. در روز پنجم، در تیمارهای Silicosec® و Dryasil درصد تلفات ۲/۲ گزارش شد که با هم برابر بودند و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشتند. پس از گذشت هفت روز، تیمار Dryasil بیشترین درصد تلفات را داشت که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها پیدا کرد. در روز ۱۰، خاک دیاتومه ایرانی Dryasil با درصد تلفات ۳۷/۷، بیشترین درصد تلفات را روی حشرات کامل شپشه آرد ایجاد کرد و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. با گذشت ۱۴ روز، درصد تلفات تیمار Dryasil برابر با ۴۵/۵ و درصد تلفات تیمار Silicosec® برابر با ۴۳/۳ درصد شد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، ولی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار پیدا کردند. در روز دهم، دو خاک دیاتومه Dryasil و Silicosec® بیشترین درصد تلفات را روی حشرات کامل شپشه آرد داشتند که با روز ۷ تفاوت معنی‌دار از خود نشان دادند. در روز چهاردهم تمامی تیمارها حتی تیمار پونه + تالک تفاوت معنی‌دار با درصد تلفات ۱۰ روز پس از تیمار داشتند (جدول ۶).

نتایج نشان داد که کمترین زمان کشندگی مربوط به جو بود، به طوری‌که Silicosec®، Dryasil، و Dryasil + عصاره پونه به ترتیب بعد از ۸/۹۰، ۷/۳۷، و ۱۱/۸۷ روز باعث ۵۰ درصد تلفات روی حشرات کامل شپشه آرد در جو شدند (جدول ۷).

جدول ۶. میانگین درصد تلفات ± خطای معیار حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* در ذرت تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه.

Table 6. Mean mortality% ± SE of *Tribolium confusum* in maize treated with diatomaceous earth.

Treatments	Time (days)				
	1	5	7	10	14
Silicosec®	0.00D	2.22±1.46aD	13.33±1.66bC	24.44±1.75bB	43.33±2.88aA
Dryasil	0.00D	2.22±1.46aD	23.33±1.66aC	37.77±1.46aB	45.55±1.75aA
Dryasil+ M.LE	0.00D	7.77±1.46aD	7.77±1.46bC	15.55±1.75cB	34.44±1.75bA
Talcum+ M.LE	0.00C	3.33±1.66aC	3.33±1.66cC	8.88±2.00cB	25.55±1.75cA
$F_{3,32}$, P	-	<0.001, 1.524	<0.001, 28.353	<0.001, 50.533	<0.001, 18.994

Means with different lowercase letters in each column, and different uppercase letters in each row have a significant difference using Tukey test at $P = 0.05$, M.LE: *M. longifolia* extract.

جدول ۷. مدت زمان کشندگی (LT_{50}) فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه روی حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum*.

Table 7. Lethal time (LT_{50}) of different diatomaceous earth formulations on adults of *Tribolium confusum*.

Formulation	Wheat	Barley	Rice	Paddy rice	Maize
Silicosec®					
LT_{50} (day) (95% CI)	15.65 (8.74-206.68)	8.90 (7.92-10.13)	16.07 (14.25-19.61)	13.88 (12.26-16.79)	15.34 (13.40-19.17)
Slope ± SE	1.39 ± 0.21	2.603 ± 0.33	4.74 ± 0.72	3.44 ± 0.49	3.66 ± 0.54
χ^2, P (df = 3)	7.891, 0.048	2.854, 0.415	3.893, 0.273	0.237, 0.971	1.315, 0.726
Dryasil					
LT_{50} (day) (95% CI)	17.59 (9.17-3789.51)	7.37 (4.81-9.79)	12.72 (11.52-14.59)	14.86 (12.86-18.79)	13.64 (10.22-60.45)
Slope ± SE	1.46 ± 0.22	3.61 ± 0.41	3.98 ± 0.51	3.17 ± 0.48	3.32 ± 0.48
χ^2, P (df = 3)	10.163, 0.017	9.586, 0.022	1.50, 0.682	0.462, 0.927	8.593, 0.035
Dryasil+ PE					
LT_{50} (day) (95% CI)	31.69 (20.87-94.18)	11.87 (10.90-13.26)	17.27 (14.48-23.71)	17.10 (14.33-23.49)	17.32 (14.92-22.46)
Slope ± SE	2.11 ± 0.50	4.35 ± 0.51	3.16 ± 0.53	3.07 ± 0.513	4.13 ± 0.66
χ^2, P (df = 3)	0.122, 0.989	3.844, 0.279	2.47, 0.481	1.533, 0.675	2.431, 0.488

CI: Confidence interval; M.LE: *M. longifolia* extract.

بحث

در مطالعه حاضر درصد تلفات حشرات کامل شپشه آرد با افزایش زمان تیمار افزایش یافت. در پژوهشی، ارزیابی تأثیر فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه شامل Insecto®، PyriSec® و SilicoSec®، علیه حشرات کامل شپشه برنج، *Sitophilus oryzae* (L.) و شپشه آرد *T. confusum* روی جو، چاودار و تریتیکاله بررسی شد. نتایج نشان داد که درصد تلفات در هر دو گونه با افزایش مدت زمان تیمار افزایش یافت. فرمولاسیون PyriSec® و پس از آن SilicoSec® به طور معنی داری باعث تلفات بیشتری روی حشرات کامل شپشه آرد شدند (Athanassiou *et al.* 2004). در پژوهش دیگری، تاثیر حشره‌کشی فرمولاسیون SilicoSec® خاک دیاتومه در دانه‌های جو دوسر، چاودار و تریتیکاله تیمار شده با غلظت‌های ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی حشرات کامل *S. oryzae* و *T. confusum* برسی شد. شمارش تلفات حشرات کامل ۱، ۲، ۷ و ۱۴ روز پس از تیمار صورت گرفت. درصد تلفات در هر دو گونه با افزایش مدت زمان تیمار افزایش یافت. غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌خوبی قادر به کنترل هر دو گونه انباری شدند (Athanassiou *et al.* 2005).

در مطالعه حاضر بیشترین اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه در جو مشاهده شد، در صورتی‌که در سایر غلات اثر حشره‌کشی هر دو فرمولاسیون خاک دیاتومه کمتر بود. (Kavallieratos *et al.* 2005) اثر دو فرمولاسیون خاک دیاتومه شامل Insecto®، و SilicoSec® را علیه حشرات کامل سوسک کشیش در هشت دانه غله متفاوت (گندم، جو کامل، جو پوست کنده، جو دوسر، چاودار، تریتیکاله، برنج و ذرت) ارزیابی کردند. ایشان بیان کردند که درصد چسبندگی ذرات خاک دیاتومه به سطح دانه غله فاکتور مهمی در اثر بخشی خاک دیاتومه برای کنترل سوسک کشیش بود. به طوری‌که کمترین درصد چسبندگی در ذرت گزارش شد. بنابراین، کاهش اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه در ذرت می‌تواند به دلیل چسبندگی کم آنها در این محصول باشد. در پژوهش دیگری، ارزیابی اثرات حشره‌کشی سه فرمولاسیون خاک دیاتومه شامل Insecto®، PyriSec® و SilicoSec®، علیه حشرات کامل *T. confusum* روی گندم و ذرت انجام شد. مقادیر گندم و ذرت با غلظت‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تیمار شدند. نتایج نشان داد که درصد تلفات حشرات کامل با گذشت زمان افزایش نشان داد. درصد تلفات در گندم بیشتر از ذرت بود. درصد تلفات در ذرت تیمار شده با فرمولاسیون‌های Insecto®، PyriSec® و SilicoSec® در ۱۴ روز پس از تیمار به ترتیب ۶۰، ۶۳، و ۸۱ درصد بود، که نشان دهنده سمیت بالای SilicoSec® نسبت به سایر فرمولاسیون‌ها روی حشرات کامل داشت. در صورتی‌که در گندم ۱۰۰ درصد تلفات روی حشرات کامل مشاهده شد. ایشان بیان کردند که محتوای زیاد روغن در دانه‌های ذرت می‌تواند باعث جذب روغن دانه توسط ذرات خاک دیاتومه، و کاهش کارایی دیاتومه در ذرت شود (Vayias *et al.* 2006).

اثر سه فرمولاسیون تجاری خاک دیاتومه شامل Insecto®، PyriSec®، و Protect-It® به تنهایی و در ترکیب روی گندم و ذرت در برابر سه گونه انباری سوسک کشیش (F.) *Rhyzopertha dominica*، شپشه برنج *S. oryzae* و شپشه آرد *T. confusum* بررسی شد. برای همه گونه‌های آزمایش‌شده، فرمولاسیون‌های

خاک دیاتومه روی گندم مؤثرتر از ذرت بودند (Athanassiou *et al.* 2007).

در غنا، اثر سه خاک دیاتومه شامل InsectoSec®، Diatomeenerde Probe-A و Fossil Shield® با غلظت‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ذرت یا برنج علیه حشرات کامل شپشه ذرت *S. zeamais* و شپشه آرد *T. castaneum* بررسی شد. فرمولاسیون تجاری InsectoSec® و Fossil Shield® پس از آن به خوبی توانستند حشرات مورد آزمایش را کنترل کنند. مقادیر LT_{50} برای *T. castaneum* روی برنج تیمار شده با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم InsectoSec® و Fossil Shield® به ترتیب ۹ و ۱۳ روز محاسبه شد. در صورتی‌که مقادیر LT_{50} برای *S. zeamais* روی ذرت تیمار شده با غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم Fossil Shield®، InsectoSec® و Diatomeenerde Probe-A به ترتیب ۵، ۶، و ۹ روز گزارش شد (Adarkwah *et al.* 2022). در مطالعه حاضر، مقادیر LT_{50} برای *T. confusum* روی جو تیمار شده با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم Silicosec® و Dryasil به ترتیب ۸/۹۰ و ۷/۳۷ روز به دست آمد.

اضافه کردن ترکیبات گیاهی شامل حشره‌کش‌های گیاهی، اسانس‌ها، و غیره تا حدودی باعث افزایش اثر حشره‌کشی خاک-های دیاتومه علیه آفات انباری می‌شود (Athanassiou *et al.* 2009; Reihani *et al.* 2016). سه نوع پیرتروئید شامل پیرمترین، سیپرمترین و دلتامترین با غلظت‌های پایین در ترکیب با سیلیکاهای بی‌شکل باعث افزایش اثر حشره‌کشی این گرد بی‌اثر روی حشرات کامل *T. castaneum* (Herbst) گردید (Le Patourel & Singh 1984). عصاره ریشه گیاه *Celastrus angulatus* Maxim. دارای ماده‌ی موثره‌ی بیتربارکومایسین (BBM) می‌باشد که خاصیت حشره‌کشی دارد. تلفات ایجاد شده توسط بیتربارکومایسین در ترکیب با خاک دیاتومه (DEBBM) علیه *S. zeamais* Motschulsky، *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) و *T. castaneum* روی گندم، بیشتر از کاربرد تنهایی هر کدام از آن‌ها بوده و توانست پس از ۱۴ روز بیش از ۹۰ درصد تلفات را در حشرات مورد آزمایش ایجاد نماید (Athanassiou *et al.* 2009). در مطالعه دیگری، مخلوطی از خاک دیاتومه با عصاره گیاهی بیتربارکومایسین در برابر حشرات کامل سه گونه آفت انباری *S. oryzae*، *T. confusum* و *C. ferrugineus* در چهار غلات مختلف گندم، جو، برنج و ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. اثربخشی خاک دیاتومه با افزایش زمان افزایش یافت. تلفات همه گونه‌ها در جو تیمار شده در مقایسه با سایر دانه‌ها بیشتر بود. همچنین عملکرد DEBBM در ذرت و برنج در مقایسه با جو یا گندم کمتر بود. عصاره بیتربارکومایسین به طور معنی-داری باعث افزایش اثر فرمولاسیون خاک دیاتومه شد (Vayias & Stephou 2009).

اثرات عصاره و اسانس‌های گیاهی بر کارایی خاک دیاتومه Sayan® و افزایش اثرات حشره‌کشی این فرمولاسیون در ترکیب با فرمولاسیون MG حاوی اسانس گیاه مورد *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) روی حشرات کامل *S. oryzea* مورد بررسی قرار داده شد. آزمایش در پنج غلظت ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم Sayan® بر یک کیلوگرم غله انجام شد. در هیچ یک از ترکیب‌های تیماری حاوی اسانس نتاجی تولید نشد و نتاج نسل‌های F_1 و F_2 تنها در اثر استفاده انفرادی از Sayan® ظاهر شدند. نتایج این پژوهش افزایش قابل توجه اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه‌ی Sayan® و نیز رفع اثر تاخیری آن (کاهش زمان درمعرض قرارگیری از حدود بیش از ۱۴ روز به حدود ۷۲ ساعت) را در ترکیب با اسانس مورد نشان دادند که می‌تواند در امر مبارزه با آفات انباری مورد توجه قرار گیرد (Reihani *et al.* 2016).

فعالیت حشره‌کشی فرمولاسیون تجاری SilicoSec® خاک دیاتومه به تنهایی و در ترکیب با مواد گیاهی (اسانس اسطوخودوس، روغن ذرت، و گرد و غبار برگ بو) و سیلیکاژل روی حشرات کامل *S. oryzae*، *R. dominica* و *T. castaneum* در گندم و جو بررسی شد. نتایج نشان داد که تلفیق ترکیبات گیاهی با فرمولاسیون خاک دیاتومه باعث افزایش فعالیت حشره‌کشی آن روی هر سه گونه حشره مورد مطالعه شد (Paponja *et al.* 2020). در مطالعه دیگری، سه فرمولاسیون جدید با ترکیب کردن خاک دیاتومه Celatom MN 23 با ترکیبات متنوع تهیه و اثر حشره-کشی آن‌ها روی حشرات کامل *S. oryzae*، S. granarius، *R. dominica* و *T. castaneum* بررسی شد. سه فرمولاسیون جدید شامل فرمولاسیون ۱: اسانس شوید+ سیلیکاژل+ خاک دیاتومه، فرمولاسیون ۲: اسانس شوید سیلیکاژل+ پیرترین+ خاک دیاتومه ، فرمولاسیون ۳: اسانس شوید، سیلیکاژل+ پیرترین+ دی سدیم اکتابورات تتراهیدرات+ خاک دیاتومه بودند. فرمولاسیون ۲ و ۳ بیشترین فعالیت حشره‌کشی را روی گونه‌های مورد آزمایش داشت، به طوری‌که در گندم تیمار شده با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بعد از ۳ روز ۱۰۰ درصد تلفات روی حشرات کامل *S. oryzae*، *S. granarius* و *R. dominica* گزارش شد. در مورد حشرات کامل *T. castaneum*، ۷ روز پس از تیمار ۱۰۰ درصد تلفات مشاهده شد (Korunic & Fields 2020). در مطالعه حاضر عصاره پونه تاثیر چندانی در افزایش پتانسیل حشره کشی خاک

دیاتومه Dryasil نداشت.

فرمولاسیون ایرانی Dryasil و بعد از آن فرمولاسیون تجاری Silicosec® خاک دیاتومه، به خوبی قادر به کنترل حشرات کامل شپشه آرد در توده غلات بودند. هرچند پتانسیل حشره‌کشی خاک دیاتومه در جو بیشتر از سایر غلات بود. نتایج نشان داد که اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه با گذشت زمان افزایش پیدا کرد. در بیشتر موارد افزودن عصاره پونه به خاک دیاتومه سبب افزایش اثر حشره کشی خاک دیاتومه نشد، به طوری که کاربرد خاک‌های دیاتومه به تنهایی، اثر حشره‌کشی بیشتری نسبت به تلفیق آن‌ها با عصاره پونه داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز برای حمایت از این پژوهش با گرنت شماره ۱۳۸۷۷۱کمال تقدیر دارد. از آقای دکتر ولی الله مظفریان، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، برای شناسایی گونه پونه کوهی تقدیر و تشکر داریم.

References

Adarkwah C, Tuda M, Adjei RR, Obeng-Ofori D, Ulrichs C, Schöller, M, 2022. Evaluation of three German enhanced diatomaceous earth formulations for the management of two major storage pests in Ghana. *Journal of Stored Products Research* 96: 101947.

Ahmad R, Hassan S, Ahmad S, Nighat S, Devi YK, *et la.,* 2021. Stored Grain Pests and Current Advances for Their Management, in: Ahiduzzaman, M. (Ed.), Postharvest Technology-Recent Advances, New Perspectives and Applications. IntechOpen, Rijeka.

Armitage DM, Collins DA, Cook DA, Bell J, 1998. The efficacy of silicaceous dust alternatives to organophosphorus compounds for the control of storage mites, in: Jin, Z., Liang, Q., Liang, Y., Tan, X., Guan, L. (Eds.), Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-product Protection. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Beijing, China, pp. 725–729.

Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Andris NS, 2004. Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against adults of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on oat, rye, and triticale. *Journal of Economic Entomology* 97 (6): 2160–2167.

Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Meletsis CM, 2007. Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations, applied alone or in combination, against three stored-product beetle species on wheat and maize. *Journal of Stored Products Research* 43 (4): 330–334.

Athanassiou CG, Korunic Z, Vayias BJ, 2009. Diatomaceous earths enhance the insecticidal effect of bitterbarkomycin against stored-grain insects. *Crop Protection* 28 (2): 123–127.

Athanassiou CG, Vayias BJ, Dimizas CB, Kavallieratos NG, Papagregoriou AS, Buchelos CT, 2005. Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat: influence of dose rate, temperature and exposure interval. *Journal of Stored Products Research* 41 (1): 47–55.

Ebeling W, 1971. Sorptive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology* 16 (1): 123–158.

Fields P, Korunic Z, 2000 .The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* 36 (1): 1–13.

Hamel D, Rozman V, Liška A, 2020. Storage of cereals in warehouses with or without pesticides. *Insects* 11 (12): 846.

Hill DS, 2002. Pests: Class Insecta, Pests of Stored Foodstuffs and Their Control. Kluwer Academic Publishers, Springer, Malaysia, pp. 135–316.

IBM Corp, 2007. IBM SPSS Statistics for Windows Version 16.0. Spss Inc, IBM Corporation, Chicago.

Kavallieratos NG, Athanassiou CG, Pashalidou FG, Andris NS, Tomanovic Z, 2005. Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* F. Coleoptera: Bostrychidae. *Pest Management Science* 61 (7): 660–666.

Kavallieratos NG, Michail EJ, Boukouvala MC, Nika

EP, Skourti A, 2019. Efficacy of pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad and silicoSec against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. on wheat, barley and maize. *Journal of Stored Products Research* 83: 161–167.

Korunic Z, Fields PG, 2020. Evaluation of three new insecticide formulations based on inert dusts and botanicals against four stored-grain beetles. *Journal of Stored Products Research* 88: 101633.

Le Patourel GNJ, Singh J, 1984. Toxicity of amorphous silicas and silica-pyrethroid mixtures to *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* 20 (4): 183–190.

Nayak MK, Daglish GJ, 2018. Importance of Stored Product Insects, in: Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. (Eds.), Nayak, Manoj K. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–17.

Paponja I, Rozman V, Liška A, 2020. Natural formulation based on diatomaceous earth and botanicals against stored product insects. *Insects* 11 (9): 613.

Reihani M, Yazdanian M, Afshar A, 2016. Enhancing insecticidal efficacy and remedying dilatory effect of diatomaceous earth Sayan® against adults of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) in combination with myrtle essential oil, *Myrtus communis* (L.). *Journal of Applied Research in Plant Protection* 5 (1): 65–78.

Saed B, Ziaee M, Kiasat AR, Jafari nasab M, 2021. Preparation of nanosilica from sugarcane bagasse ash for enhanced insecticidal activity of diatomaceous earth against two stored-products insect pests. *Toxin Reviews* 41 (2): 516–522.

Shazdeahmadi M, Sajjadi S, 2022. Identification of chemical compounds of methanolic extract of (*Mentha longifolia* L.) and (*Thymus pubescens* Boiss.) plants and their insecticidal and repellent effects on *Trialeurodes vaporarium*. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* 45(3): 27–42.

Vayias BJ, Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Tsesmeli CD, Th Buchelos C, 2006. Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. *Pest Management Science* 62 (5): 456–464.

Vayias BJ, Stephou VK, 2009. Factors affecting the insecticidal efficacy of an enhanced diatomaceous earth formulation against three stored-product insect species. *Journal of Stored Products Research* 45 (4): 226–231.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)